水 攻 法

武 井 友 也*

Water Flooding

By

Tomoya TAKEI

Abstract: In this paper the outline of both the basic experiment of water flooding and the actual application of water flooding to oil fields in Japan is explained.

1. 緒 言

戦後、回収量の増加をはかるため、2次回収法が研究され、とくに水攻法が活潑に油田に対して実施された。

まず、水攻法の基本的現場実験として、東山油田桂沢坑道に圧入孔を開鑿し、昭和24年(1949)11月に水の

成果をおさめたので、フルスケールの水攻法を第1表に示した13地区で実施した。

全帝石の水攻法の経過は、第1図に示した通りである。すなわち、昭和27年(1952)6月以降、水攻法関係の生産量は急激にふえ、昭和31年(1956)11月、平均日産137klのピークに達した。それから、生産量は漸次減

第1表 水 攻 法 実 施 概 要

(昭和34年9月末)

油 田 名	地 区 名	圧入開始日	圧 入 井 数	採 油 井 数	累 計 (kl)		備 考
					圧 入 量	増 油 量	
黒 川	深 層	30. 10. 1	3 (0)	9 (0)	41,177	86	32. 6末中止
	高 野 I BL	32. 4. 1	4 (3)	15 (12)	61,612	68	
	八 橋 BL	30. 4. 1	10 (9)	41 (30)	369,925	36	
八橋 III 層	雄物川 IVBL	29. 1. 1	8 (8)	17 (14)	384,081	44	33. 12末中止
	" III "	26. 3. 12	8 (7)	15 (11)	550,586	04	
	" IIIs "	30. 9. 1	2 (0)	3 (0)	46,234	96	
	" I "	29. 3. 10	7 (2)	11 (10)	166,259	93	
八橋 IV 層	バイロット	32. 4. 1	2 (0)	5 (0)	18,443	88	33. 8末中止
院 内	上小国 II 層	29. 2. 10	6 (4)	8 (5)	67,640	15	
新 津	小口 IIA 層	29. 5. 12	10 (10)	33 (31)	281,348	82	
東 山	B 層	29. 1. 11	5 (0)	24 (12)	58,399	38	
	C 層	30. 4. 20	12 (0)	56 (41)	79,797	07	32. 3末中止
西 山	C 層	30. 3. 15	5 (0)	11 (0)	8,117	52	

註 ()は昭和34年9月末稼働井数

圧入を開始した。その結果が良好のため、油田実験として昭和26年3月、八橋 III 層雄物川 III ブロックの OC 33 を改修し、圧入井に仕上げ、水の圧入を開始し、

退し、昭和34年9月の日産量は71klである。

現在までの水攻法による累計増油量は88,300klで、そのうち77,300klは八橋油田における水攻法増である。

* 帝国石油生産部

第2表 水攻法実施地区油層の形質

実施地区名	地層名	粒 度	滲透率 (md)	孔隙率 (%)	有効層厚 (m)	油比重 (15°/4°C)	油粘度 (cp)
黒川深層	女川層	粗粒	83	40.0	15	0.9304	107.7(30°C)
高野 I BL	桂根層	細粒	690	30.0	12	0.9062	14.2(30°C)
八橋 BL	桂根層	細粒	690	35.0	10	0.8620	3.5(25°C)
雄物川 IV BL	桂根層	細粒	500	40.0	10	0.8600	3.4(25°C)
雄物川 III BL	桂根層	細粒	460	40.0	12	0.8600	3.8(30°C)
雄物川 IIIs BL	桂根層	細粒	460	40.0	10	0.8600	3.8(30°C)
雄物川 I BL	桂根層	細粒	300	40.0	8	0.8500	3.3(25°C)
八橋 IV 層パイロット	桂根層	細粒	14.5	40.2	10	0.8710	6.6(30°C)
上小国 II 層	桂根層	細粒	347	41.9	9	0.8920	16.0(30°C)
新津小口 IIA 層	椎谷層	中粒	800	40.0	20	0.9410	110.0(30°C)
東山 B 層	椎谷層	中粒	1,500	35.0	12	0.876	9.0(30°C)
東山 C 層	椎谷層	粒中	1,500	35.0	15	0.860	8.5(30°C)
西山 C 層	椎谷層	頁岩砂岩互層	40	32.0	5	0.820	5.5(15°C)

第1図 全帝石水攻法経過

2. 東山油田桂沢坑道における基本実験

(1) 第1回目の実験

斜坑二層行, T. 50 より水を圧入し, 油層中の油を両側の T. 49, T. 51 および坑道へ水で押しだそうとした計画である。各ボーリングの深度は T. 49: 35 m, T. 50: 40 m, T. 51: 35 m で, 圧入孔 T. 50 は 36 m の箇所セメンチングされている。

圧入施設としては 50 石タンクが 2 基, 斜坑副坑の坑

外に設けられ, これより鉄管にて水を導き, 高低差による圧力で T. 50 の深度 36~40 m の箇所から油層中に水を圧入し, 対象採油孔である T. 49, T. 51 で採油している。

昭和 24 年(1949) 11 月 25 日 T. 50 へ水の圧入を開始した。その圧入圧力および水量は次の通りである。

〔第1回目の実験の記録〕

月 日	圧入量 (kl)	累計圧入 量(kl)	圧 力 (ksc)
11 月 25 日	4.10	4.10	6.5
26 日	3.75	7.85	6.7
27 日	5.20	13.05	6.6
28 日	5.05	18.10	6.8
29 日	3.72	21.82	7.0
30 日	3.50	25.32	7.2
12 月 1 日	3.46	28.78	7.2
2 日	3.30	32.08	7.2
3 日	3.07	35.15	7.2
4 日	2.86	38.01	7.0
5 日	2.45	40.46	7.0
6 日	2.35	42.81	7.0
7 日	3.84	46.65	9.0
8 日	4.50	51.15	9.0

上記の圧力は T. 50 の坑口に取付けた圧力計の読みであるが, 圧入部分は圧力計の位置よりも 8 m 高くなっているため, 正確な圧入圧力は, 上記の圧力から, 0.8 kg/cm^2 を減じなければならない。圧入水量は時間の経過とともに漸減してきた。圧入水量を増すために, 12

第3表 増加見込量計算一覧表

地 区 名	対象面積 (m ²)	層 厚 (m)	ガスキャップ		孔隙率 (%)	間隙水 飽和率 (%)	残油率(%)		水攻 係数 (%)	回収可 能 量 (kl)	一次回収 見込量 (kl)	水 攻 増 (kl)	回 収 期 間 (年)	
			面 積 (m ²)	層 厚 (m)			現 在	水攻後						
黒川深層	パイロットフラディングのため算定せず													
高野ⅠBL	63,900	12	—	—	30.0	30.0	43.4	25.0	50.0	21,200	9,800	11,400	12	
八 橋 BL	200,000	10	13,700	4	35.0	30.0	43.3	25.0	70.0	89,500	24,130	65,370	10	
雄物川ⅣBL	114,900	10	19,000	4	40.0	30.0	43.5	25.0	70.0	59,500	19,500	40,500	10	
〃 ⅢⅢ 〃	104,000	12	—	—	40.0	30.0	45.0	24.4	70.0	72,000	26,900	45,100	10	
〃 ⅢⅢs 〃	17,000	10	—	—	40.0	30.0	40.0	25.0	70.0	6,800	800	6,000	7	
〃 Ⅰ 〃	83,000	8	—	—	40.0	30.0	42.0	25.0	70.0	21,864	10,092	11,772	7	
八橋Ⅳ層 パイロット	パイロットフラディングのため算定せず													
院内	①	33,200	7	—	—	30.0	30.0	45.1	30.0	70.0	7,369	1,649	5,720	5
	②	11,325	9	—	—	42.0	30.0	51.2	30.0	60.0	5,350	250	5,100	9
上小国Ⅱ層	計	44,525									12,719	1,899	10,820	
新津 小口ⅡA層	①	35,480	15	—	—	30.0	30.0	44.3	32.0	60.0	11,783	0	11,783	11
	②	7,270	20	—	—	40.0	30.0	41.3	32.2	60.0	3,245	0	3,245	6
	③	24,000	20	—	—	40.0	30.0	44.6	32.0	60.0	14,515	0	14,515	13
	④	47,970	20	—	—	40.0	30.0	42.4	32.0	50.0	20,000	0	20,000	16
	計	114,720									49,543	0	49,543	
東山Ⅱ層	①	34,800	11.5	—	—	27.0	30.0	45.6	30.0	60.0	10,114	1,839	8,275	9
	②	28,690	12	—	—	35.0	30.0	53.6	30.0	60.0	17,000	1,300	15,800	9
	計	63,490									27,214	3,139	24,075	
東山Ⅲ層	①	42,340	15	—	—	35.0	30.0	43.1	30.0	60.0	17,500	2,800	14,700	12
	②	176,854	15	—	—	35.0	40.0	39.5	30.0	60.0	52,800	5,600	47,200	12
	計	219,194									70,300	8,400	61,900	
西山Ⅲ層	①	26,720	5	—	—	32.0	40.0	60.0	30.0	60.0	7,700	1,520	6,180	5
	②	20,700	5	—	—	32.0	40.0	59.0	30.0	60.0	5,800	100	5,700	4
	計	47,420									13,500	1,620	11,880	

月7日より上記の如く、圧入圧力をあげた所、12月10日に至り水止セメント部分から漏水し、圧入を中止せねばならなかった。

採取コア一試験の結果油砂の滲透率は

	平均滲透率 (md)	滲透率の範囲 (md)
T. 49	98	65~150
T. 50	191	80~295
T. 51	155	28~372
3坑平均	148	28~372

T. 51 の孔隙率の値は22.3~35.7%で、平均27.47%である。

T. 49, T. 50, T. 51 の3坑の平均含油率は25.56%となつている。

T. 49, T. 50, T. 51 の3坑の平均含水率は73.26%

となつている。

圧入水は斜坑底部の坑内水溜りよりポンプにて地表200石タンクに集められ、濾過槽で濾過したうえ、斜坑副坑、坑口の50石タンク2基に貯水し、これを自然流下で、T. 50に圧入した。施設配置図は第3図に示す。

T. 52を新掘した際のデータから、T. 50の圧入による影響を調査してみると、T. 52の坑口はT. 50と同じ高さで、T. 50との距離は76cm、角度は約1°30'で、深さは50mである。

T. 50による水攻された体積の近似値は、球と楕円体の中間値として考えた場合

$$\text{球の体積は} \left(\frac{4}{3}\right)(\pi)(5)^3 + (2)(5)^2(\pi) = 2,988\text{m}^3$$

$$\text{楕円体の体積は} \left(\frac{4}{3}\right)(10)^2(5)(\pi) + (50)(\pi)(2) = 2,404\text{m}^3$$

第2図 東山坑道内水攻法概念図

第3図 東山坑道圧入施設図

第4図 東山坑道内水攻法経過

であるので、 $2,600 \text{ m}^3$ と仮定する。油砂の孔隙容積は孔隙率 30% とすれば (T. 52 の平均は 29.9%), 780 m^3 となる。圧入した水量は 50 kl であるので、これは 780 m^3 の 6.4% に相当する。すなわち油層の液体孔隙飽和率が $100\% - 6.4\%$ 、つまり 93.6% 以下であつたことになる。

間隙水飽和率を 40% と仮定すれば、油砂中の油と水の比率は 60:40、すなわち 1.5 が上限界になる。T. 52 ではコア試験の結果によれば、25~30 m の間のコアの油水比は平均 1.245 である。45 m 附近では 0.499 になる。これは他の部分の油水分比より高くなっている。このことは T. 50 より圧入した水が油を排油する際、奥の方向へよりも手前の方向へ、効果的に行われたことを示している。

なお、T. 52 のコア分析の結果よりみれば、液体孔隙飽和度が 93.02% である。このことは水の圧入を中止した後、圧入した水が T. 50 の坑口から逆流したことによると思われる。

T. 52 より産水の Cl^- 量からみると、45 m 付近までは $1,500 \text{ mg/l}$ 前後であり、47 m が $2,000 \text{ mg/l}$ を越え、50 m で $2,310 \text{ mg/l}$ になつた。同じ 50 m の深度で、翌日測定したら $2,450 \text{ mg/l}$ となつた。この事実でも水攻体積の推定の根拠となりうる。

また、さらに前線の Cl^- 濃度は大で、圧入した附近は Cl^- が少ないことがいえる。現在 T. 50 から出ている水は 284 mg/l である。なお T. 50 より圧入前、T. 50 より産出した水の Cl^- 量は $3,920 \text{ mg/l}$ である。圧入水の Cl^- 量は 50 mg/l である。

よつて、現在 T. 52 から出ている水の 62% が圧入前油層にあつた水であり、38% が圧入した水である。T. 50 から出ている水の 6.05% が圧入前油層にあつた水であり、93.95% が圧入した水ということになる。

以上の結果を総合して、T. 50 より圧入は中止したが、その水攻効果は小さい体積であつたが確実に認められる。

(2) 第2回目の実験

第1回目の実験に引き続き、斜坑二層行、T. 54 を圧入孔とし、T. 50, 51, 52 を産出孔として、第2回目の実験が計画された。

昭和 25 年(1950) 3 月 28 日, T. 54 に圧入を開始したが, 圧入部の砂面を閉塞する原因となる鉄の腐蝕生成物の発生を抑えるため, 4 月 23 日圧入を一たん中止し, 5 月 1 日大体の解決をえたので圧入を再開した。

圧入水量・圧入圧力・産出油水量の経過は第 4 図に示す通りである。

回収量は東山の場合, 一応可採油量は水攻法を実施しない場合の約 2 倍と概算した。水攻法を実施しない時には, 月当り 0.5 % の減退率として 81 kl 回収ができる。水攻法の実施による増油量は, この 2 倍の 160 kl と仮定した。

圧入水の防蝕対策としては, 濾過槽・貯水槽およびその間の鉄管は, 船底防蝕用酸化鉄ペイントを塗装した。なお一部は試験的に有機塗料 コロライトを塗った。また, 水に重クロム酸カリを加えて, 鉄管内部に酸化被膜を作り, 鉄イオンが水に入るのを防ぐ方法をとった。重クロム酸カリの濃度は 5 ppm を用いた。

これらの実験は T. 54 で昭和 29 年 1 月まで圧入がつけられ, ひきつづいて T. 56 に昭和 29 年 2 月以降圧入がつけられた。

T. 54 の圧入を開始してから, 出油は月産 7 kl までふえ, 圧入後 2 年半頃より漸減し, 3 kl まで減退した。T. 56 を圧入してから再度増油し, 以後きわめて緩慢に減退し, 現在は 2 kl 生産している。この実験による増油は昭和 34 年(1959) 9 月末において 350 kl に達した。すなわち予想量の約 2.2 倍の増油実績をえた。

この実験とは別に昭和 30 年 5 月より坑内堅坑に水を圧入して, 油層内の油を坑道に採油させる試みが行われた。すなわち, 圧入孔として二層辰連 T. 55, 斜坑副坑行 T. 62, 63, 64, 65, 66, 67, 斜坑副坑戻 T. 68, 69, 70, 71 が用いられた。圧入量は 1 日 14 kl であつた。なお, 斜坑副坑行と斜坑副坑戻は約 1 年 3 カ月にて圧入を中止した。

3. 八橋油田

東山坑道でおこなつた水攻法実験が好成績をおさめたので, 次の段階として, 油田にたいするパイロットプロジェクトが計画された。すなわち, 油層状況・地質・深度, その他の諸条件から判断して, わが国油田のなかでは, 最も水攻法の実験に適當と考えられる, 八橋 III 層雄物川第 III ブロックが実験場所として選定され, その構造の中央部に O.R. 45 が開鑿された。

当初の計画は O.R. 45 を圧入井として利用するつもりであつたが, 油層の傾斜が 15° 以上もある点から, 構造周縁部より水の圧入をする方が適當と考え, 同じブロック東翼にある既存井 O.C. 33 を改修し, 水圧入井に仕上

げ、昭和26年3月から1日当たり約50klの割合で圧入を開始した。

水の圧入開始後2~3カ月にして、早くも近傍の採油井に増油の傾向が認められたので、さらに増油現象をはつきり確認するため、OC. 33と対象の位置に圧入井OR. 46を新掘し、同年11月から水の圧入を開始した。これらの実験に引続いて、フルスケールの水攻法計画がたてられた。

八橋油田で実施された水攻法計画は、

八橋 III 層雄物川 III ブロック
八橋 III 層雄物川 IV ブロック
八橋 III 層雄物川 I ブロック
八橋 III 層 八 橋 ブロック
八橋 III 層 高 野 I ブロック
雄物川 IIIs ブロック

八橋 III 層の地下構造は第5図に示すとき背斜構造で、桂根層に属し、細粒の油砂である。採油管理上、雄物川地区・八橋地区・高野地区に分け、さらに地下構造から雄物川を I~IV ブロックに、高野を I~II ブロックにわけている。

八橋 III 層の水攻法経過は第6図の通りである。

(1) 雄物川 III ブロック

本ブロックの油層の形質は、

平均空気汚透率	460md
平均孔隙率	40%
有効層厚	12m
原油比重	0.860
原油粘度	30°C おいて 3.8cp
ガス分析結果	比重 1.092
CH ₄ 24.0%, C ₂ H ₆ 38.1%, CO ₂ 36.0%, CO 0.1%, O ₂ 1.1%	
油田水分析結果	比重 1.013
pH 8.0, Cl ⁻ 11,722 mg/l, HCO ₃ ⁻ 5,386 mg/l	

当ブロックは昭和11年(1936)7月に開発され、以後昭和27年(1952)5月末(2次回収法実施時)までの III 層各坑井の累計産油量は、次の通りである。

坑 井 名	累計産油量 (kl)	現在坑底圧 (kg/cm ²)
OC. 10	39,741	2.8
20	7,889	
24	464	
25	10,529	1.4
26	5,530	6.6

第6図 八橋 III 層水攻法経過

27	3,120	
30	5,749	2.3
33	64	
35	3,640	3.7
43	838	
50	3,497	2.5
51	2,510	1.6
52	1,125	3.8
53	2,045	3.2
69	786	
0 R. 5		1.0
7		
45	656	0.3
合 計	88,183	

水攻法対象面積として104,000 m²を考え、圧入井9坑(深度230 m)を東西両翼に約100~130 mの坑井間隔で、-210 mの端水線と想定されるコンターに配列し、水攻パターンとしては、ベリフェラルフラディングとも、あるいは3エーカースペースングの変形5点法とも考えられる。

計画した圧入井9坑の内訳は、改修3坑、新掘6坑であつたが、新掘6坑のうち1坑 OR. 50は、予期に反して出油したため採油井に編入されたので、圧入井は8坑となつた。

対象採油井は15坑で、うち1坑は新掘、7坑は改修

〔圧入井一覽表〕

坑井名	深 度 (m)	遮 水			孔 明 部		備 考
		管 径 (in)	深 度 (m)	セメント 使用量(s)	管 径 (in)	深 度 (m)	
OC. 24	埋 231.00	6	231.20	60	6	213 ~225	改 修
33	埋 234.50	10 ³ / ₄	204.00	100	10 ³ / ₄	213 ~228	〃
43	埋 215.00	6	220.80	60	6	203 ~209	〃
OR. 46	埋 223.00	4 ¹ / ₂	205.00	150	4 ¹ / ₂	206.2~223	新 掘
47	226.00	4 ³ / ₄	225.90	150	4 ³ / ₄	209 ~222	〃
48	225.00	4 ³ / ₄	224.90	150	4 ³ / ₄	209 ~222	〃
49	225.00	4 ³ / ₄	224.60	50	4 ³ / ₄	210 ~222	〃
51	220.00	4 ³ / ₄	220.00	150	4 ³ / ₄	200 ~218	〃

〔採油井一覽表〕

坑井名	深 度 (m)	遮 水			孔 明 部		備 考
		管 径 (in)	深 度 (m)	セメント 量(s)	管 径 (in)	深 度 (m)	
OC. 10	240.00	10 ³ / ₄	187.89	迫 止	8 ³ / ₈	199.35~235.20	30. 6. 29 廃坑済
20	273.50	8 ⁵ / ₈	186.34	〃	6 ³ / ₈	184.46~262.40	
25	226.50	10 ³ / ₄	189.61	〃	8 ³ / ₈	191.34~224.58	
26	216.00	4 ³ / ₄	200.00	40	4 ³ / ₄	200.00~216.00	26. 改 修(埋立)
27	埋 220.00	4 ³ / ₄	202.00	20	4 ³ / ₄	203.00~219.00	27. 改修 III GP
30	240.00	10 ³ / ₄	204.63	迫 止	6 ³ / ₈	206.03~231.23	26. 改 修(埋立)
35	埋 227.00	4 ³ / ₄	208.40	40	4 ³ / ₄	200.30~227.00	
50	234.40	10 ³ / ₄	188.90	迫 止	6 ³ / ₈	178.40~231.92	
51	240.00	10 ³ / ₄	190.40	〃	6 ³ / ₈	192.01~238.20	26. 改 修(埋立)
53	埋 220.00	8 ⁵ / ₈	205.30	〃	6 ³ / ₈	200.00~215.00	
69	221.00	4 ³ / ₄	203.00	35	4 ³ / ₄	203.80~221.00	26. 改 修(掘下)
OR 5	埋 225.00	6 ³ / ₈	186.00		4 ¹ / ₂	204.00~220.00	27. 改修 III GP
7	埋 220.00	8 ⁵ / ₈	362.27	180	8 ⁵ / ₈	200.00~218.00	27. 改修 III GP
45	埋 215.00	6 ³ / ₈	196.00	150	4 ³ / ₄	196.70~215.00	25. 新 掘
50	225.00	4 ³ / ₄	224.80	150	4 ³ / ₄	210.00~219.00	27. 新 掘

作業をおこなった。さらに水攻法実施に障害となると考えられる III 層以下を仕上げた坑井の III 層保護を実施した。

〔廃坑井ならびに油層保護井一覽表〕

坑井名	深度(m)	摘 要
OC. 41	237.80	昭 27 廃 坑
OR. 17	2,205.20	〃 20 〃
18	1,205.20	〃 26 〃
30 埋	380.00	〃 27 III 層保護
1 埋	236.50	〃 26 〃 〃
2	371.00	〃 26 〃 〃
27	323.00	III 層上部までセメント 上昇
42	400.00	
44	420.00	
52	339.50	

当ブロックの III 層群は III a₅ a₆ a₇ III₂ より構成されておるが、当計画では III 層を水攻法の対象としてとりあげた。III 層と、上下層の連絡を遮断するため、圧入井・採油井、III 層以下の採油井はいずれも III 層の保護をおこなった。

圧入作業に先立つて、油層中の流体の電気模型による解析を行つた。この解析はとくに 2 次回収法に応用し、圧入水と産油井との相対関係を調べるときに最も有効である。

第 7 図は T₁, T₂, T₃, T₄, ……なる各時間にて回収された面積 A₁, A₂, A₃, A₄, ……をあらはしている。

すなわち、第 1 の坑井への到達時間がわかつたとき、他の坑井への到達時間を知ることができる。

第 8 図は 2 極法によつて、実験したときの写真である。寒天の厚さ 7mm, 寒天の濃度 15%, Zn(NH₃)₄Cl₂

第 11 図 雄物川 III ブロック配管図

第 12 図 八橋 III 層雄物川 III ブロック水攻法経過

構造中央に圧入井を 2 坑設け、それと周辺部の 6 坑の圧入井より、変形 5 点法で圧入を計画した。なお、水の圧入に先立って中央部の水の圧入井よりディウォーターリングの目的で、約 2 カ月にわたり 94,000 m³ のガスを圧入した。

本ブロックの油層の形質は

平均空気滲透率	500md
平均孔隙率	40%
有効層厚	10m
原油の比重	0.860
原油の粘度	25℃において 3.4cp
ガスの分析結果	比重 1.092

CH₄ 24.0 %, C₂H₆ 38.1 %,

CO₂ 36.0 %, CO 0.1 %,

O₂ 1.1 %

油田水の分析結果 比重 1.013

pH 8.0, Cl⁻ 11,722 mg/l,

HCO₃⁻ 5,386 mg/l

当ブロックは昭和 10 年 3 月 20 日開発され、爾来昭和 28 年 1 月末(2 次回収法実施時)までの III 層各坑井の累計産油量は次の通りである。

坑 井 名	累計産油量 (kl)	坑井名	累計産油量 (kl)
OC. 1	2,117	OC. 36	323
2	2,001	37	8,165
3	20,560	39	3,886
4	1,906	42	719
5	2,418	44	9,349
7	2,536	46	1,307
8	10,635	48	4,716
9	9,259	56	3,931
13	10,544	R. 3	3,646
14	14,381	YC 11	3,648
15	3,268	14	4,036
28	11,825	21	1,167
29	3,049	68	9,754
31	299	合 計	149,450

水攻法対象面積としては 114,900 m² を考え、当初のガスキャップ面積は 19,000 m² と想定した。有効層厚をそれぞれ、10 m、4 m と仮定し、孔隙率 40 %, 間隙水飽和率 30 % とする。現在残油率は 43.5 %, 水攻後の残油率を 25 % とする。水攻係数を 70 % と仮定すると、回収可能量は 59,500 kl となる。1 坑 1 日当り 20 kl の水を圧入するとして、水攻期間を算定すると 10 年となる。この間 1 次採取法で採取可能な油量は、現日産 8kl、

減退率年当り 10% として 19,000 kl となるので、差引 40,500 kl が 2 次回収法による増油量となると想定した。

対象採油井は 17 坑である。生産状況ならびに圧入経過は第 13 図の通りである。すなわち、水の圧入開始後

第 13 図 八橋Ⅲ層雄物川Ⅳブロック水攻法経過

約 1 年半後の昭和 30 年 8 月、産油量のピーク (32 kl/d) になった。昭和 31 年 (1956) 11 月のピーク (36 kl/d) は採油井に実施したフラクチャリングの影響である。

昭和 33 年 11 月より圧入水量を増加したところ、生産量の減退は比較的緩慢になった。昭和 34 年 9 月末における累計増油量は 32,700 kl である。

(3) 雄物川ブロック

昭和 29 年 (1954) 3 月 10 日圧入井 7 坑で圧入を開始したが、Ⅲ層の発産が悪いためか、たいした増油を示さなかった。増油を示した時期は、圧入開始後 1 年半を経

第 14 図 八橋Ⅲ層雄物川Ⅰブロック水攻法経過

過してからである。昭和 34 年 9 月末までの累計増油量は 2,100 kl である。

(4) 八橋ブロック

当ブロックは昭和 30 年 (1955) 4 月 1 日、圧入井 10 坑より水の圧入を開始した。対象採油井は 41 坑であるが、採油井の多くは Ⅲ層と Ⅳ層の同時仕上である。圧入井は Ⅲ層を仕上げ、水の圧入をしているが、採油井は湛液面が Ⅲ層の下部以下になるようにポンプを降下している。すなわち、液柱を低くすることによって、Ⅳ層への油・水の浸入を防いでいる。

水攻法の経過は第 15 図に示す通りである。この地区

第 15 図 八橋Ⅲ層八橋ブロック水攻法経過

の増油は昭和 34 年 9 月末で 12,310 kl である。増油をみた坑井が構造の中央にかたまっており、外環の坑井が増油をみないということが本地区の特徴である。

圧入施設は別に当ブロックにプラントを建設、使用している。プラントの施設は第 16 図に示す通りである。

(5) 高野Ⅰブロック

水攻法経過は第 17 図に示す通りである。圧入開始は昭和 32 年 (1957) 4 月 1 日で、圧入井は 4 坑である。昭和 34 年 9 月末累計増油量は 1,170 kl である。

⑥ 八橋 IV 層パイロット

八橋 III 層の油層構成岩石は砂であるが、IV 層以下は凝灰岩が主となつている。この凝灰岩に対する水攻法を目的として、パイロットをこころみた。圧入井を2坑新掘したが、この区域の IV 層の主要油層が、凝灰岩かまたは凝灰岩の上にある砂か不明のため、1坑は砂の部分、他の1坑は凝灰岩の部分を上上げた。

昭和32年(1957)4月1日圧入を開始したが、採油井にたいする影響があらわれないため、昭和33年8月に圧入を中止した。

第16図 八橋水攻プラント施設配置図

第17図 八橋III層高野1ブロック水攻法経過

3. 黒川油田

黒川油田の深層は粗粒凝灰岩および安山岩が主要油層である。当層は日本一の累計量を誇る黒川 R. 5 の存在する油層である。

相当の残油量が期待されるため、当層にあらたに3坑の圧入井を掘鑿し、まず端水線に近い R. 145, R. 146 の2坑より水の圧入を試みたが、油・水量とも変化せず、しばらく経過してから R. 144 より圧入をしたが、依然油・水量は変化を示さなかつたので、昭和32年6月末圧入を中止した。

第19図 黒川深層地下コンター

第18図 八橋IV層パイロット地区地下コンター

第 20 図 院内上小国Ⅱ層地下コンター

第 21 図 上小国Ⅱ層水攻法経過

4. 院内油田

上小国Ⅱ層に、昭和29年(1954)2月10日圧入を開始した。圧入井は6坑設けたが、現在4坑より圧入をつづけている。昭和34年9月末に増油量は2,200 kl に達した。

当地区は昭和33年9月、圧入を一旦中止して生産状況の模様をみたが、生産量が圧入中に較べて減少したので、再度圧入を実施した。

5. 新津油田

水攻法を実施した油層は小口ⅡA層で、この層の排油エネルギーは、初期には溶解ガスと端水とのコンビネーションであつたが、現在はⅡA層全体とすると水押しで

ある。しかし対象地区は端水の力が及んでいないものとして計画を立案した。油層を形成する地層は椎谷層で、滲透率は200 md、孔隙率30%、有効層厚15 mで、油の比重は0.6442、30°Cにおける平均粘度は112 cpである。

本地区は大正2年(1913)10月13日採油が開始され、以来昭和28年(1953)1月までの累計採油量は122,520 klである。計画にさいして想定した水攻法の増油量は、11,783 klである。計算根拠は次の通りである。

水攻対象面積	35,480 m ²
有効層厚	15 m
孔隙率	30 %
間隙水飽和率	30 %
現在残油率	44.3 %
水攻後残油率	32 %
水攻係数	60 %

かくして、回収可能油量は11,783 klとなる。一方圧入井1坑当りの1日の圧入量を20 klとすると、11年間で回収が終了する。なお、この層は現在、端水のエネルギーが弱いため、産出していないと考えられるので、2

次回収法による増加見込量は回収可能油量の11,783 klとなる。

なお当地区は4次にあたつて計画を拡大したので、最終的の想定増油量は49,500 klになつている。

小口ⅡA層へ圧入を開始したのは昭和29年5月12日で、最初2坑より圧入したが順次増加し、昭和32年6月より10坑で圧入を続けている。採油量は対象坑井の増加に伴ないふえている。ピーク後の減退も緩慢である。出水量も坑井の増加に伴ないふえている。

昭和34年9月末における累計増油量は5,680 klである。

6. 東山油田

(1) 東山B層

当油層は椎谷層で、油田の中央部(加坪)に発達している。採油面積は180,000 m²、深度200~300 mである。開発は明治34年(1901)4月で、昭和29年(1954)4月までに約74,000 klの産油量を記録した。水攻法の対象面積は34,800 m²で、圧入井として浦瀬 R. 1, R. 2を新掘し、12坑を対象井として、昭和29年1月水の圧入を開始した。圧入後、数日にしてその影響が現われた採油井もあり、特に顕著な坑井は加坪 C. 3, C. 4, C. 72であつた。さらに2次計画として圧入井3坑を新掘し、対

第 22 図 新津小国Ⅱ層地下コンター

第 24 図 東山B層地下コンター

第 23 図 新津Ⅱ層水攻経過

象井を9坑増加し、対象面積も28,690 m²にふやした。昭和30年7月、加坪C.3は最高30倍の増産率を示したが、出水量もふえ、採油井のサンドトラブルも多くなり、2ヵ月後には100%の水となった。

増産の顕著な坑井はいずれも同様の経過をたどった。当層ではチャネリングの問題が大きく、当初の20 kl/dでは圧入レートが大きく、5~10 kl/dでは水攻効果があがらず、15 kl/dを目標に圧入をつづけたが、昭和33年11月圧入を一応中止した。昭和34年9月末増産量は2,400 klである。

(2) 東山C層

本層の水攻法は、B層の増産が月100 klをこえ明るい見通しの時期に計画され、油層状況もB層と大差ないものと判断し、いきなり本格的な水攻パターンとして5点法がくまれ、昭和30年4月に浦瀬R.5から圧入が開始され、順次圧入井の完成とともに圧入が始められた。

昭和30年8月には12坑の圧入網ができあがった。

チャネリングの発生を予想し、圧入レートは1坑当たり5~7 klにした。しかし、圧入効果が現れないので、圧入レートの増加によるテストを浦瀬R.20で実施したが、圧入圧力が異外に高く(圧入レート8 kl/dで圧入圧力30 kg/cm²)、一応テストを中止した。当層は増産顕著ならず、昭和33年11月圧入を中止した。

第25図 東山B層水攻法経過

第26図 東山C層地下コンター

7. 西山油田

西山C層の水攻法の計画は昭和29年初めにたてられたが、開発が古く資料不足のため、計画に先立つて長嶺 R. 60でコアリングを実施した。対象面積を47,420 m²、圧入井10坑を計画、昭和30年圧入を開始したが、高圧のため思うように圧入できず、昭和32年3月圧入を中止した。

8. 計画と実績

各計画の増油量推定値と昭和34年9月末の実績の対比は、第4表に示す通り

である。

第27図 東山C層水攻法経過

第4表 計画増油量と34年9月末増油実績の対比

地区名	計画増油量 (kl)	計画回収期間 (年)	実績増油量 (kl)	実績水攻期間 (年-月)
高野 I BL	11,400	12	1,174.38	2-6
八橋 BL	65,370	10	12,311.49	4-6
雄物川 IV BL	40,500	10	32,740.45	5-9
II III	45,100	10	28,935.84	8-7
II IIIs	6,000	7	0	3-4
II I	11,772	7	2,123.63	5-7
院内上小国 II 層	10,820	9	2,213.21	5-8
新津小口 II _A 層	49,543	16	5,678.78	5-5
東山 B 層	24,075	9	2,405.88	5-9
東山 C 層	61,900	12	697.77	4-6
西山 C 層	11,880	5	0	2-0

黒川深層・八橋 IV 層はパイロットフラディングのため記載しない

推定量と実績値の間に相当のひらきがあるのは、回収期間がみちかいことも原因であるが、計画立案の際に用いた諸数値に大きな疑問が存在することである。これらの諸点については、いずれ稿をあらためて発表したいと考える。

八橋油田以外では、新津がやや増油量が大きいという程度であるが、圧入方法等が各油層に対して適切であつたか否かは、今後研究する余地がある。

謝 辞

本報告作成にあたり、西沼三智雄・小林四郎・小倉良之・中山テル子の各氏の御協力に謝意を表します。

参 考 文 献

石油技術協会誌，第 18 卷，第 4 号。
帝石開発報告，第 1003 号。
帝石開発報告，第 1005 号。
帝石開発報告，第 1013 号。